



21st CENTURY

实用规划教材

21世纪全国高职高专
电子信息系列实用规划教材

电路分析基础

主 编 徐 锋 黄夷百



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是“21 世纪全国高职高专电子信息系列实用规划教材”之一，主要讲述电路分析的基本概念、基本定律、基本定理、基本元件、基本电路的分析方法。全书共分 10 章，第 1 章至第 4 章为直流电路分析，第 5 章至第 7 章为交流电路分析，第 8 章至第 10 章为动态电路分析。本书可作为高职高专电子信息类专业及相关专业的教材，也可供从事电子信息工作的工程技术人员参考。

电路分析基础

第 1 版 (2010) 目录见封底

主 编 徐 锋 黄夷百

副主编 张丽萍 曲卫青 张 琳

参 编 俞 瀛 杨彦青 董英英

北京理工大学出版社 北京

ISBN 7-302-23000-0



北京大学出版社

PEKING UNIVERSITY PRESS

地址：北京市海淀区中关村大街 22 号

电话：(010) 62750672

内 容 简 介

电路分析基础是高职高专电类专业一门十分重要的专业基础课程。本书是为满足高职高专应用型人才培养目标的教学需要,依据技能型人才培养的教学特点而编写的。

本书共分为8章,内容包括电路的基本知识、简单直流稳态电路的分析、复杂直流稳态电路的分析、单相正弦交流电路、互感现象及变压器、三相正弦交流电路、非正弦周期电路、动态电路分析。

本书概念叙述清楚、深入浅出、通俗易懂、易于自学,力求做到概念准确、内容精炼、重点突出,注重理论联系实际,注重方式和方法的叙述。

本书可作为高等职业技术学院、高等工程专科学校、成人高等学校电气类、电子类、通信类等专业的教材使用,也可供有关科技人员和相关专业的本科学生、自学考试者参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析基础/徐锋,黄夷百主编. —北京:北京大学出版社,2008.5

(21世纪全国高职高专电子信息系列实用规划教材)

ISBN 978-7-301-12384-3

I. 电… II. ①徐…②黄… III. 电路分析—高等学校:技术学校—教材 IV. TM133

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第083348号

书 名: 电路分析基础

著作责任者: 徐 锋 黄夷百 主编

策 划 编 辑: 赖 青

责 任 编 辑: 李娉婷

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-12384-3/TM·0008

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 河北涞县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 14.25印张 327千字

2008年5月第1版 2008年5月第1次印刷

定 价: 22.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

电路分析基础是电类专业的一门基础课程,其任务是使学生具备高素质技能型人才所必需的电路分析基本知识,为学生学习后续专业课程奠定电路理论基础。

本书包括电路的基本知识、简单直流稳态电路的分析、复杂直流稳态电路的分析、单相正弦交流电路、互感现象及变压器、三相正弦交流电路、非正弦周期电路、动态电路分析共 8 章。

根据高职高专工科专业应用型人才培养的特点,本书在内容上突出了理论知识的必需与够用的原则,尽量减少数学论证,以掌握概念、应用和分析方法作为教学重点。

本书概念叙述清楚、深入浅出、通俗易懂、易于自学,力求做到概念准确、内容精炼、重点突出,注重理论联系实际,注重方式和方法的叙述。

本书可作为高等职业技术学院、高等工程专科学校、成人高等学校电气类、电子类、通信类等专业的教材,也可供有关科技人员和相关专业的本科学生、自学考试者参考。

本书的编写框架和编写大纲由浙江台州职业技术学院徐锋老师拟定并负责全书统稿、修改和定稿工作。第 1 章由宁波大红鹰职业技术学院曲卫青老师编写,第 2 章由台州职业技术学院张丽萍老师编写,第 3 章由兰州资源环境职业技术学院黄夷百老师编写,第 4 章由台州职业技术学院徐锋老师编写,第 5 章由台州职业技术学院杨彦青老师编写,第 6 章由甘肃畜牧工程职业技术学院俞瀛老师编写,第 7 章由辽宁交通职业技术学院张琳老师编写,第 8 章由武汉软件工程职业学院董英英老师编写。

电路分析基础理论性比较强,建议授课教师根据不同教学内容和特点设计出相应“案例”,用“案例”导入的方式进行教学,教学环境可考虑移到专业实验室中,尽量采用“教、学、做”一体的教学模式。

本书较适宜的授课学时为 90 学时左右,各章的参考教学时数如下表。

章 次	建议学时	章 次	建议学时
第 1 章 电路的基本知识	12	第 5 章 互感现象及变压器	4
第 2 章 简单直流稳态电路的分析	8	第 6 章 三相交流电路	12
第 3 章 复杂直流稳态电路的基本分析	14	第 7 章 非正弦周期电路	6
第 4 章 单相正弦交流电路	22	第 8 章 动态电路分析	12

由于时间仓促和编者水平有限,书中不妥之处在所难免,殷切希望使用本书的老师、同学和其他读者批评、指正,以便今后修订提高。

编 者

2008 年 3 月

北京大学出版社高职高专机电系列教材

书 号	书 名	编著者	定价	出版日期
978-7-5038-4861-2	公差配合与测量技术	南秀蓉	23.00	2007.9
978-7-5038-4863-6	汽车专业英语	王欲进	26.00	2007.8
978-7-5038-4864-3	汽车底盘电控系统原理与维修	闵思鹏	30.00	2007.8
978-7-5038-4865-0	CAD/CAM 数控编程与实训(CAXA 版)	刘玉春	27.00	2007.9
978-7-5038-4862-9	工程力学	高 原	28.00	2007.9
978-7-5038-4868-1	AutoCAD 机械绘图基础教程与实训	欧阳全会	28.00	2007.8
978-7-5038-4869-8	设备状态监测与故障诊断技术	林英志	22.00	2007.9
978-7-5038-4866-7	数控技术应用基础	宋建武	22.00	2007.8
978-7-5038-4937-4	数控机床	黄应勇	26.00	2007.8
978-7-301-10464-2	工程力学	余学进	18.00	2006.1
978-7-301-10371-9	液压传动与气动技术	曹建东	28.00	2006.1
978-7-5038-4867-4	汽车发动机构造与维修 (1CD)	蔡兴旺	50.00	2008.3
978-7-301-13258-6	塑模设计与制造	晏志华	38.00	2008.1
978-7-301-13573-0	机械设计基础	朱凤芹	30.00(估)	2008.6
978-7-301-13574-7	机械制造基础	徐从清	30.00(估)	2008.6
978-7-301-13260-9	机械制图	徐 萍	32.00	2008.1
978-7-301-13263-0	机械制图习题集	吴景淑	40.00	2008.1
978-7-301-13653-9	工程力学	武昭晖	28.00(估)	2008.6
978-7-301-13264-7	工程材料与成形工艺	杨红玉	35.00	2008.1
978-7-301-13262-3	实用数控编程与操作	钱东东 龚肖新	32.00	2008.1
978-7-301-13261-6	微机原理及接口技术(数控专业)	程 艳	32.00	2008.1
978-7-301-13383-5	机械专业英语图解教程	朱派龙	22.00	2008.3
978-7-301-12182-5	电工电子技术	李艳新	29.00	2007.8
978-7-301-12181-8	自动控制原理与应用	梁南丁	23.00	2007.8
978-7-301-12180-1	单片机开发应用技术	李国兴	21.00	2007.8
978-7-301-12173-3	模拟电子技术	张 琳	26.00	2007.8
978-7-301-12392-8	电工与电子技术基础	卢菊洪	28.00	2007.9
978-7-301-11566-4	电路分析与仿真教程与实训	刘辉路	20.00	2007.2
978-7-301-09529-5	电路电工基础与实训	李春彪	31.00	2007.8
978-7-301-13575-4	数字电子技术	何首贤	28.00(估)	2008.6
978-7-301-12386-7	高频电子线路	李福勤	20.00	2008.1
7-301-10227-5	ProENGINEER 野火 2 版精彩实例教程(1CD)	张朝晖	42.00	2006.1
7-301-10273-9	SolidWorks 2005 精彩实例教程(1CD)	姜开宇	30.00	2006.1
7-301-08979-1	UG NX 2/3 实例教程(1CD)	袁 锋	45.00	2005.6
978-7-301-12384-3	电路分析基础	徐 锋	22.00	2008.5

电子书(PDF 版)、电子课件和相关教学资源下载地址: <http://www.pup6.com/ebook.htm>, 欢迎下载。

欢迎免费索取样书, 请填写并通过 E-mail 提交教师调查表, 下载地址: <http://www.pup6.com/down/教师信息调查表 Excel 版.xls>, 欢迎订购。

欢迎投稿, 并通过 E-mail 提交个人信息卡, 下载地址: <http://www.pup6.com/down/zhuyizhexinxika.rar>。

联系方式: 010-62750667, laiqingbeida@126.com, linzhangbo@126.com, 欢迎来电来信。

目 录

第1章 电路的基本知识 1

1.1 电路模型 1

1.1.1 电路的基本概念 1

1.1.2 电路的基本元件 1

1.1.3 电路模型 3

1.1.4 电路的类型 5

1.2 电路变量 5

1.2.1 电流 6

1.2.2 电压、电位与电动势 8

1.2.3 电功率与电能 11

1.3 电源 16

1.3.1 独立电压源 16

1.3.2 独立电流源 19

1.3.3 受控源 20

1.4 基尔霍夫定律 22

1.4.1 电路中的几个术语 22

1.4.2 基尔霍夫电流定律 23

1.4.3 基尔霍夫电压定律 24

1.4.4 基尔霍夫定律应用举例 25

第2章 简单直流稳态电路的分析 28

2.1 直流稳态电路的概念 28

2.2 电阻元件与电路基本定律 29

2.2.1 电阻的特性与欧姆定律 29

2.2.2 电阻的串联、

并联及混联 31

2.2.3 电阻的星形、三角形连接 及其等效变换 35

2.2.4 独立电压源与独立电流源 的等效变换 38

2.2.5 独立电源的连接组合 40

2.2.6 负载获取最大功率 的条件 43

2.3 简单直流稳态电路计算举例 47

2.4 直流稳态电路中电容、

电感对电路的影响 50

第3章 复杂直流稳态电路的分析 53

3.1 支路电流分析法 53

3.2 节点电位分析法 56

3.2.1 含有电流源支路的

网络节点电位分析法 56

3.2.2 含有实际电压源支路网络的

节点电位分析法 57

3.2.3 含有理想电压源支路网络的

节点电位分析法 58

3.2.4 节点电位分析法的

解题步骤 59

3.3 网孔电流分析法 61

3.3.1 网孔电流与支路电流 62

3.3.2 网孔电流法 62

3.3.3 网孔电流分析法的

解题步骤 63

3.4 回路电流分析法 65

3.5 叠加定理 69

3.6 戴维南定理和诺顿定理 72

3.6.1 戴维南定理 72

3.6.2 诺顿定理 75

3.7 电路中电位的计算 78

3.7.1 电位的计算方法 78

3.7.2 等电位的概念 79

第4章 单相正弦交流电路 82

4.1 正弦交流电的基本概念 82

4.1.1 正弦交流电的基本概念 82

4.1.2 正弦交流电的

三要素及意义 83

4.1.3 正弦交流电的相位差 86

4.1.4 正弦交流电的有效值 87

4.2 正弦交流电的相量表示法	91	4.9 谐振电路	140
4.2.1 正弦交流电的相量表示法	91	4.9.1 串联谐振	140
4.2.2 基尔霍夫定律在正弦交流电路中的表达形式	93	4.9.2 并联谐振	142
4.2.3 相量表示的正弦交流电路的简单计算	94	第5章 互感现象及变压器	146
4.3 纯电阻正弦交流电路	97	5.1 互感及互感电压	146
4.3.1 电流与电压的关系	97	5.1.1 互感的基本概念	146
4.3.2 电阻上功率的计算	98	5.1.2 互感线圈的同名端	148
4.4 纯电容正弦交流电路	101	5.1.3 互感现象的应用	150
4.4.1 电容元件及线性电容	101	5.2 变压器及其工作原理	153
4.4.2 电容元件的伏安特性	102	第6章 三相正弦交流电路	159
4.4.3 电流与电压的关系	103	6.1 三相正弦交流电路的概念	159
4.4.4 电容的无功功率	105	6.1.1 三相正弦交流电动势的产生	159
4.4.5 电容元件的串并联	107	6.1.2 三相电源的连接	160
4.5 纯电感正弦交流电路分析	109	6.1.3 三相负载的连接	163
4.5.1 电感元件及其性质	109	6.2 对称三相正弦交流电路分析	164
4.5.2 电感元件的伏安特性	110	6.2.1 对称负载星形连接时的分析	164
4.5.3 电感元件上电流与电压的关系	111	6.2.2 对称负载三角形连接时的分析	166
4.5.4 电感元件上的无功功率	113	6.2.3 三相不对称电路的简单分析	169
4.6 阻抗及阻抗的串并联	116	6.2.4 三相电路功率的计算	173
4.6.1 阻抗及阻抗的表示方法	116	第7章 非正弦周期电路	177
4.6.2 阻抗的串联	119	7.1 非正弦周期电路的概念	177
4.6.3 阻抗的并联	120	7.2 非正弦周期量的分解	178
4.6.4 导纳及计算	121	7.3 非正弦周期性电路的谐波分析	179
4.7 正弦交流电路的一般分析方法	124	7.4 有效值、平均值和平均功率	184
4.7.1 正弦交流电路分析的基本工具	124	7.5 非正弦周期性电路计算	188
4.7.2 RLC 串联正弦交流电路	125	第8章 动态电路分析	194
4.7.3 RLC 并联正弦交流电路	128	8.1 换路定律与初始值的计算	194
4.7.4 阻抗混联电路分析	129	8.1.1 过渡过程	194
4.8 正弦交流电路的功率	132	8.1.2 换路定律	195
4.8.1 有功功率和无功功率	132	8.1.3 初始值的计算	195
4.8.2 功率因数及计算	136	8.2 零输入响应	198

8.2.1 零输入响应的概念	198	8.3.3 RL 串联电路的 零状态响应	206
8.2.2 RC 串联电路的 零输入响应	198	8.4 一阶电路的全响应	209
8.2.3 RL 串联电路的 零输入响应	201	8.5 一阶电路的三要素	211
8.3 零状态响应	204	8.6 微分电路和积分电路	214
8.3.1 零状态响应的概念	204	8.6.1 微分电路	214
8.3.2 RC 串联电路的 零状态响应	204	8.6.2 积分电路	215
		参考文献	217

第1章 电路的基本知识

本章主要介绍电路和电路分析的基础知识。首先从电路模型入手,介绍了电路的基本概念和电阻、电容、电感三大基本元件;同时详细介绍了电流、电压、电功率等电路变量的概念;由于电源内阻的存在,所以主要从电压源和电流源两个角度阐述了实际电源在不同电路中所表现出来的特性;最后介绍了两个电路分析中最常用的一些专业术语和最基本的分析方法:基尔霍夫电流定律(KCL)和电压定律(KVL)。这些知识是全书的基础。

1.1 电路模型

1.1.1 电路的基本概念

实际电路是由各种电器按一定的方式互相连接而成的电流通路。它的主要功能是实现电能或电信号的产生、传输、转换和处理。

在科技发达的今天,无论是日常生活还是各种生产实践、科学研究,都广泛地使用着种类繁多的电路。如为采光而使用的照明电路,为把电信号放大而设计的放大电路,为实现各种自动化生产而设计的自动控制电路;还有人们日常用到的各种家用电器构成的电路,例如,电视机、音响设备、洗衣机、电风扇、微波炉、电冰箱、照明电路等。

图 1.1 是一个最简单的实际照明电路。它由 3 部分组成:一是作为电源的干电池,它的作用是提供电能;二是作为负载的灯泡,它将电能转换成光能和热能;三是作为中间环节的导线和开关,起连接、控制干电池和灯泡的作用。

一般来说,不管电路复杂与否,都可将它分为 3 部分:一是提供动力的电源;二是消耗或转换电能的负载;三是连接和控制电源与负载的导线、开关等中间环节。这 3 个部分在任何电路中都是缺一不可的。

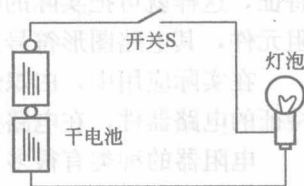


图 1.1 手电筒电路

1.1.2 电路的基本元件

在电路中,除了像灯泡这样的负载外,还有电阻器、电容器、电感器、变压器、晶体管等电路元器件。即使最简单的元器件,在工作时所发生的物理现象也可能是很复杂的。例如,一个有电流通过的线绕电阻器,除了对电流呈现阻碍作用之外,还在导线周围产生磁场,因而兼有电感器的性质;同时还会在各匝线圈之间存在电场,因而又兼有电容器的性质。

在分析电路的过程中,主要考虑元器件表现出来的电阻、电容、电感特性,因此电阻器、电感器、电容器是电路的基本元件。下面对这些元件进行简单介绍。

1. 电阻器

电阻器简称为电阻。电荷在导体中定向移动形成电流，电荷在移动过程中相互之间以及与其他微粒发生碰撞，从而阻碍电荷的移动，表现出对电荷移动的“阻碍”作用，这种性质被称为“电阻”。通常人们讲某个元件是电阻，实际上有两层含义：其一是指该元件具有“电阻”的性质；其二则是指元件本身是一个电阻器。

电荷定向移动碰撞其他微粒时要消耗自身的电能，导致其他微粒的热运动加速，使导体本身发热和温度升高。因此电路中电阻的存在往往伴随有能量的损失，这种现象称为电阻的电流热效应。

电阻的英文名为 Resistance，通常缩写为 R ，它是导体的一种基本性质。不同材料、不同尺寸和不同温度的导体对电流的阻碍作用不相同。电阻对电流的阻碍作用是可以量化的，在国际单位制中，它的量化单位是“欧[姆]”，用符号 Ω 表示。

一段导体的电阻大小与导体本身的长度成正比，与截面积成反比，并与导体材料性质有关。材质均匀一致的导体，其电阻的数学表达式为

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-1)$$

式(1-1)也叫电阻定律。若电阻 R 的单位取 Ω ，导体长度 L 的单位为 m ，导体截面积 S 的单位为 m^2 ，那么电阻率 ρ 的单位为 $\Omega \cdot m$ 。

电阻是物体(或说材料)本身的一种性质，人们可以利用材料的这种性质制成各式各样的“电阻器”。例如日常生活中使用的电炉，其发热丝就是用导体绕制而成的“电阻器”，电炉直接利用电阻的电流热效应来工作。

实际的电阻器在工作中还会表现比较微弱的电磁现象，如产生磁场等。我们突出实际元件对电流的阻碍作用，即在其内部进行着把电能转换成热能等不可逆过程的这一主要特征，忽略其一些次要特征，这样就可把实际的电阻器抽象为一种理想的电路元件，即电阻元件，其电路图形符号如图 1.2 所示。



图 1.2 电阻元件的符号

在实际应用中，白炽灯、电烙铁等电热电器，它们是以消耗电能而发热或发光为主要特征的电路器件，在电路模型中都可以用电阻元件来表示。

电阻器的种类有很多，通常分为三大类：固定电阻、可变电阻、特种电阻。在电子产品中，以固定电阻应用最多。

2. 电容器

电容是电容器的简称，顾名思义，电容器就是“容纳电荷的容器”，它是一种储存能量的元件，简称为储能元件。电容器品种繁多，但它们的基本结构和原理是相同的。不同的电容器储存电荷的能力不相同，在电路中的作用也不相同。

电容使用的场合很多，比如整流电源被拔下插头后，上面的发光二极管还会继续亮一段时间，然后逐渐熄灭，就是因为里面的电容事先存储了电能，二极管保持发亮的过程就是电容器释放能量的过程。

用直流电源供电的随身听，耳机中可能会有嗡嗡声，这是因为使用了较小容量的滤波电容。这时如果在电源两端并接上一个较大容量的电解电容，一般可以改善效果。

电容器在电力系统的功率因数补偿方面有很大作用。通常电网上大多数负载往往呈现

出电感性质,导致电网功率因数下降,使电网得不到充分利用,此时一般采用并联电容的办法来提高电网的功率因数。

电容的英文名 Capacitance,通常缩写为 C 。同电阻一样,电容器的电容量是可以量化的,它的量化单位是“法[拉]”,用符号 F 表示。

电容器的电容量大小与电容器的结构和介电常数有关。在两块平行放置的金属板中间填充绝缘介质就构成一个简单的平板电容器,对于平板电容器的电容量计算有以下数学公式

$$C = \frac{\epsilon S}{d} \quad (1-2)$$

在式(1-2)中,电容 C 与介电常数 ϵ 成正比,与面积 S 成正比,与两金属板间的距离 d 成反比。若电容 C 的单位取 F ,面积 S 的单位为 m^2 ,距离 d 的单位为 m ,那么介电常数 ϵ 的单位为 F/m 。

在电路模型中,电容器的符号如图 1.3 所示。 C 不但表示电容器,同时也表示电容器的电容量。

3. 电感器

电感器简称电感,英文名是 Inductance,但通常缩写为 L ,这是为了纪念俄国物理学家楞次(Lenz Heinrich)而命名的。电感器和电容器一样,也是一种储能元件,它能把电能转变为磁场能,并在磁场中储存能量,其单位名称为亨[利],用符号 H 表示。

收音机上就有不少电感线圈,几乎都是用漆包线绕成的空心线圈或在骨架磁芯、铁芯上绕制而成的。如天线线圈(它是用漆包线在磁棒上绕制而成的)、中频变压器(俗称中周)、输入输出变压器等。

工矿企业中大量使用的电动机、发电机等电机,它们的主要部件是用导线绕制而成,因此它们在电路中就表现出一种电感器的性质。

在电路模型中,电感器的符号如图 1.4 所示。同电容相同, L 不但表示电感器,同时也表示电感器的电感量。

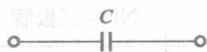


图 1.3 电容元件的符号



图 1.4 电感元件的符号

1.1.3 电路模型

在实际电路中使用的各种各样的电气元器件,在电路工作时会表现出非常复杂的电气特性,所以直接对实际元件或设备构成的电路进行分析和研究往往比较困难,有时甚至不可能。因此,需要对各种实际元件按它们在电路中表现出来的电磁特性进行分类,并加以理想化,在一定的条件下忽略其次要特征,突出其主要特征,用一个能表征其主要电磁特征的“模型”——理想元件来表示。

理想元件具有两个特点:一是它反映的电磁特性可以用数学表达式进行精确的描述,也就是人们可用数学的方法对电路进行分析和计算;二是实际电气元件中发生的电磁现象可用理想元件或它们的适当组合来表示。

在引入了理想元件电阻、电容和电感的概念后,实际的电路元件都可以用能够反映其主要电磁特性的理想元件来代替,即实际电路都可用各种理想元件构成的抽象电路来表示,人们称这种抽象电路为“电路模型”。电路模型反映了各种理想元件在电路中的作用和相互之间的连接方式,并不表示元件之间的真实几何关系和实际位置,而且,人们对电路的分析和计算是对电路模型而言的。另外,在电路模型中,连接各元件的导线也被认为是理想元件,其电阻忽略不计。

图 1.5 为实际手电筒电路的电原理图与电路模型图。图 1.5(a)中的灯泡在电路中表现出来的性质与电阻相同,因此用在电路模型中,即在图 1.5(b)中用 R 表示;而电池在电路中表现出来的性质相当于电压源与电阻(电池内阻 r)的串联组合,因此在电路模型中用电压源 U_s 与电池内阻 r 串联组合来表示电池。

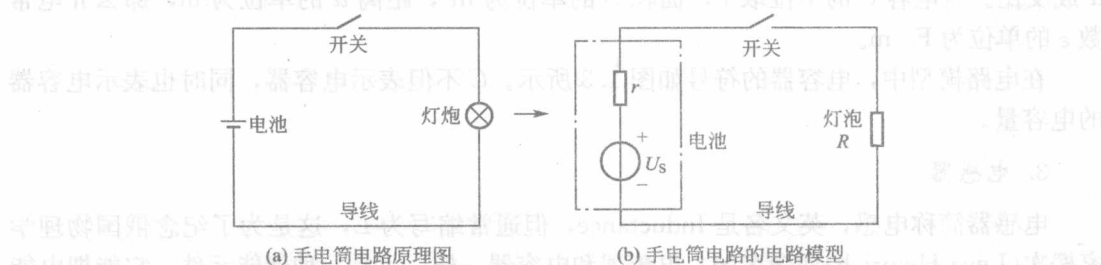
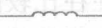
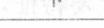
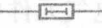
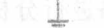


图 1.5 手电筒电路的原理图与电路模型

这里要说明的是:将一个电气元件理想化是有条件的,即在不同的条件下,如果电气元件表现出不同的特性,那么它的模型也不一样,构成的电路模型也就不同。本书后面提到的电路,除特别说明外,都指电路模型,其中的元件都是理想元件。对于一个电气元件,可能会有不同的模型,表 1-1 给出了部分常用电气元件的模型。

表 1-1 常用电气元件模型

电阻		电压源		PNP 三极管	
				NPN 三极管	
可变电阻		电流源		二极管	
				晶体	
电容		受控电压源		扬声器	
电感		受控电流源		麦克风	
开关		电池		灯泡	
		脉冲信号		插座	
延时		地		熔丝	

1.1.4 电路的类型

电路的基本作用是进行电能与电能或电能与其他形式能量之间的变换,达到为人类服务的目的。例如电灯电路的作用是将电能转变为可见光(光能)以便人们照明之用;洗衣机电路的作用是将电能转变成机械运动(机械能)以便完成对衣服的洗涤;配电系统中的降压电路则是将一种电压变到另一种合适的电压;水轮发电机电路则是将水的动能或势能转变成电能等。

根据侧重点的不同,电路大致可以分为电力电路和信号电路两类,下面对这两类电路作一简要说明。

(1) 电力电路:主要用于电能生产、传送、分配与转换。例如电厂的发电机生产电能,通过变压器、输电线等送到用户,用户再通过各种负载将电能转换成其他形式的能量,如前面所讲的光能、机械能等。这类电路的特点一般是电压高、电流大。对这类电路的要求往往是传输的功能要大、效率要高等。

(2) 信号电路:这类电路则侧重于对信号的传递与处理。例如各种测量仪器、计算机、自动控制设备中的控制电路以及日常生活中的收音机、电视机等电子电路。通常这类电路的电压较低、电流较小。对这类电路的要求往往是电信号失真要小、抗干扰能力要强等。

电力电路往往与专业课程相结合,例如电机与拖动、工厂供配电技术、电机与控制、自动控制系统等。信号电路则往往相对独立开设,例如模拟电子技术、数字电子技术、高频电路等。

小 结

1. 电路是由电源、负载和中间控制环节构成的电流通路。
2. 电路的基本元件有电阻器、电容器、电感器。
3. 在电路分析中,将元件的主要电磁特性提取出来成为理想元件,由理想元件构成的电路称为电路模型。
4. 电路可分为电力电路、信号电路等。

思考题与习题

- 1.1.1 试画出你家的照明电路。
- 1.1.2 电阻器、电容器和电感器是电路中的三大基本元件,它们在电路中对电能的作用有何不同?
- 1.1.3 为什么说同一元件在不同电路中的模型可能不同?

1.2 电路变量

在分析一个电路的过程中,通常要分析电路中的许多变量,其中电流、电压、功率是

电路的 3 个基本变量。认识这些变量,对分析电路将有着重要的意义。

1.2.1 电流

人们把带电的粒子(微粒)称为电荷,而电荷的定向移动形成电流。

带电的粒子有 3 类,即带负电的自由电子、带正电的正离子和带负电的负离子。在金属导体中带电的粒子是指带负电的自由电子,而在电介质中带电的粒子则是指带正电的正离子和带负电的负离子。

通常情况下,带电粒子作无规律的杂乱运动,例如金属导体中的自由电子杂乱无章的热运动,但由于内部电荷的运动总体上体现不出方向,因此不能构成电流。但是这些电荷在一定条件下(如处在电场中时就会受到电场力的作用)会作定向移动,这样就构成了电流。

图 1.6(a) 电路中,电荷作无规律的运动,物体中未形成电流,因此电流等于零,即 $i=0$; 而图 1.6(b) 中正电荷有规律地向右移动,因此就构成了向右移动的电流,即 $i \neq 0$ 。

1. 电流的方向

带电粒子之所以作定向移动是因为受到了电场力的作用,或者说是受到了电源的作用。

电流产生时,正电荷与负电荷在电路中受到的电场力的方向是相反的,因此它们的移动方向也是相反的。为了便于分析电路,必须对电流的方向作出明确规定。

人们规定,正电荷的移动方向为电流的实际方向。电流的实际方向与负电荷的移动方向相反。图 1.7 是电场方向与电场中正、负电荷的运动方向与电流方向之间的关系示意图。

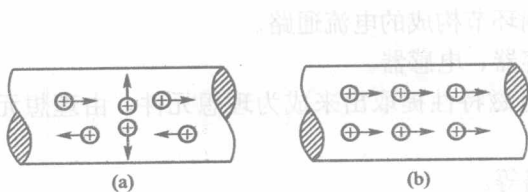


图 1.6 电荷移动示意图

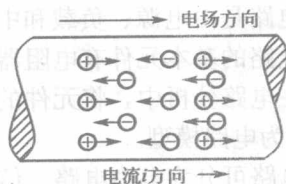


图 1.7 电流的方向示意图

应当指出的是,在金属导体中形成电流的定向移动电荷是自由电子;电解液中是正离子与负离子;而在半导体中则为电子与带正电的“空穴”。

2. 电流强度

电流强度是用来衡量电流大小的物理量。人们把单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流强度;电流强度又简称为电流,用符号 i 表示。

设在一段时间 dt 内,通过导体横截面的电荷量为 dq ,则电流 i 为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-3)$$

在国际单位制中, q 为电荷量,单位为库[仑](用 C 表示); t 是时间,单位是秒(用 s

表示); i 为电流, 单位为安[培](用 A 表示)。

在电力电路中, 会用到一些比“安[培]”大一些的电流单位, 例如千安(kA); 而在信号电路中则经常会用到比“安[培]”小一些的电流单位, 例如毫安(mA)和微安(μ A)等。这些单位之间的换算关系为

$$1\text{kA}=1000\text{A}, 1\text{A}=1000\text{mA}, 1\text{mA}=1000\mu\text{A}$$

值得注意的是, “电流”这一词有两个含义, 它既表示一种物理现象, 即电荷的移动; 同时又是一个物理量, 即电流强度。

3. 电流的参考方向

在简单电路中, 电流的实际方向是很容易确定的。例如手电筒电路(图 1.5)中电流的实际方向是从电池正极流出, 经过开关和灯泡回到电池的负极。

在任何一个电路中, 电流的实际方向都是确定的, 这是不容置疑的; 但是在分析复杂直流电路或在分析交变电路时, 人们有时很难用实际电流方向进行分析计算, 这是因为在分析计算之前很难事先判断其中电流的实际方向。

例如, 在图 1.8 所示的复杂直流电路中, 很难快速确定支路 $a \rightarrow e \rightarrow c$ 中的电流的实际方向。这会给分析、计算电路带来一定的困难。

为解决这一难题, 也是出于分析计算电路的需要, 人们引入“电流参考方向”的概念, 参考方向又称为假定正方向, 简称正方向。

所谓参考方向, 就是在一段电路中, 根据需要任意假定某一方向为电流的正方向, 即参考方向, 并用箭头在电路中标示出来, 以此参考方向作为电路分析、计算的依据。当参考方向与实际电流方向一致时电流为正值, 与实际电流方向相反时为负值。

例如, 图 1.9 所示电路中箭头所指的方向就是各支路的参考方向, 但它并不代表实际方向。

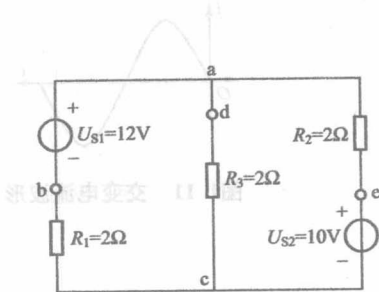


图 1.8 复杂直流电路

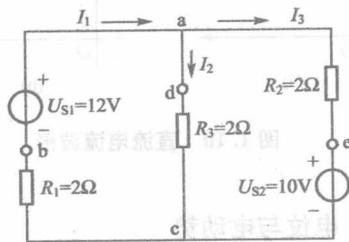


图 1.9 各支路中电流参考方向

通过对电路图 1.9 的计算, 求得各分支电路的电流分别为

$$I_1=7/3(\text{A}), I_2=11/3(\text{A}), I_3=-4/3(\text{A})$$

这个结果说明, 支路 $a \rightarrow b \rightarrow c$ 与支路 $a \rightarrow d \rightarrow c$ 中的实际电流方向与箭头方向(参考方向)是一致的; 而支路 $a \rightarrow e \rightarrow c$ 中的实际电流方向与箭头方向(参考方向)相反。

从以上分析可以知道, 只有在标出了电流的参考方向后, 电流数值的正负才有意义。即电流 $i > 0$, 表明电流的实际方向与所确定的参考方向一致; 反之若 $i < 0$, 表明电流的实

际方向与所确定的参考方向相反。

4. 电流的种类

根据电流的大小、方向与时间之间的关系, 可将电流分成恒定电流、脉动直流、变动电流 3 种。

(1) 恒定电流: 恒定电流简称直流(常用字母 DC 表示), 是一种大小、方向都不随时间的变化而变化的电流, 如图 1.10(a)所示。通过直流电流的电路称为直流电路, 例如前面提到的手电筒电路就是一个直流电路。直流电路是电路分析的基础。

直流电路的电流强度用 I 表示, 显然, 对于直流电流, 在任意相同时间间隔内通过导体横截面的电荷量都是相同的, 所以式(1-3)可简化为

$$I = \frac{q}{t}$$

(2) 脉动直流: 大小随时间变化, 而方向不变的电流称为脉动直流。很多由交流通过整流而得到的直流电流往往是脉动直流。图 1.10(b)所示就是一种脉动直流电流。脉动直流电路是直流电路的一种。

(3) 变动电流: 大小、方向都随时间变化的电流称为变动电流。其中大小和方向都呈周期性变化、且一个周期内的平均值为零的电流称为交变电流, 简称交流(常用字母 AC 表示), 图 1.11 就是常见的正弦交流电的波形, 电流 $i < 0$ 部分与电流 $i > 0$ 部分的方向是相反的; 电流 $i > 0$ 部分说明与参考方向相同, $i < 0$ 部分说明与参考方向相反。由此可见, 参考方向的引入也解决了变动电流方向的描述问题。

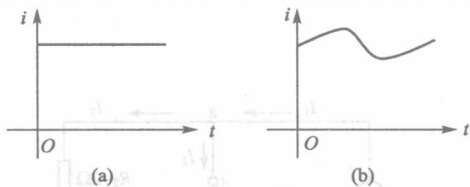


图 1.10 直流电流波形

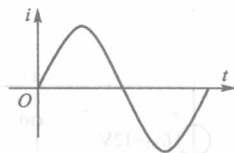


图 1.11 交变电流波形

1.2.2 电压、电位与电动势

1. 电压

电荷在电场中受到电场力的作用而产生移动, 因此电场具备对电荷做功的能力。电压是衡量电场力推动电荷运动, 对电荷做功能力大小的物理量。如同水压是产生水流的原因一样, 电压是电路中产生电流的根本原因。

在图 1.12 所示电场 E 中, a、b 两点之间的电压 u_{ab} 在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功。

设正电荷 dq 在电场力的作用下, 从 a 点移到 b 点, 电场力做功 dW , 则 a、b 两点的电压为

$$u_{ab} = \frac{dW}{dq} = \frac{E \cdot dq \cdot \cos\beta \cdot L_{ab}}{dq} = E \cdot \cos\beta \cdot L_{ab} \quad (1-4)$$

换言之, a、b 两点的电压就是电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功。正电荷从 a 点移到 b 点的过程中, 若 $dW > 0$, 则说明电场力做正功, 其结果是正电荷在 b 点处的能量 W_b 比在 a 点处的能量 W_a 减少了 $dW (W_a - W_b)$, 根据能量守恒定律可知, 正电荷减少的这部分能量 dW 等于这段电路所吸收的能量。

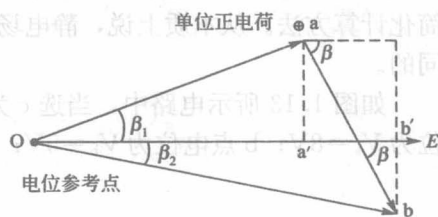


图 1.12 电场、电压、电位与电位参考点

在国际单位制中, W 表示功, 单位为焦[耳](用 J 表示); q 表示电荷量, 单位为库[仑](用 C 表示); u 表示电压, 单位为伏[特](用 V 表示)。在实际应用中, 电压经常还会用到较大一点单位, 即千伏(kV), 以及较小的单位毫伏(mV)和微伏(μV), 它们之间的换算关系为

$$1\text{kV} = 1000\text{V}, 1\text{V} = 1000\text{mV}, 1\text{mV} = 1000\mu\text{V}$$

2. 电位

电位是用于表征电场(电路)中不同位置电荷所具有能量大小的物理量, 正如水位可以用于描述水的势能大小一样。

如果在电路中任意选定一个电位参考点, 并且规定参考点本身的电位为零, 那就可以定义空间某点的电位在数值上等于将单位正电荷从该点移到参考点电场力所做的功。

显然, 电位是一个相对量, 其量值与所选参考点有关。参考点不同, 电场中各点的电位也不相同。在一个电场中, 只有当参考点选定以后, 电场中各点的电位才变得有意义。这一点同日常生活中描述水位高低是一样的, 通常人们总是以地面作为参照物。若参照物不同, 则水位高低的意义就不一样; 若没有参照物, 则不能用高低来描述水位。

在国际单位制中, 电位的单位是伏[特], 用 V 表示。在图 1.12 所示的电场中, 若参考点选为 o 点, 则 a、b 两点的电位计算如下

$$u_a = -\frac{dW}{dq} = -\frac{E \cdot dq \cdot \cos\beta_1 \cdot L_{ao}}{dq} = -E \cdot \cos\beta_1 \cdot L_{ao} \quad (1-5)$$

$$u_b = -\frac{dW}{dq} = -\frac{E \cdot dq \cdot \cos\beta_2 \cdot L_{bo}}{dq} = -E \cdot \cos\beta_2 \cdot L_{bo} \quad (1-6)$$

3. 电位与电压的关系

电场(或电路)中任意两点之间的电压等于这两点之间的电位差。例如, 在图 1.12 中, a、b 两点之间的电压等于这两点之间的电位差, 简单证明如下

$$u_a - u_b = E \cdot \cos\beta_1 \cdot L_{ao} - E \cdot \cos\beta_2 \cdot L_{bo} = E \cdot \cos\beta_1 \cdot L_{ab} = u_{ab}$$

电位的高低与参考点选择有关, 但是两点之间的电压(电位差)却与参考点无关。这一点又与水位、水位差意义相同。